

# 一种新型双气囊式蓄能系统的设计与仿真

钟凡,郑凯

(西安交通工程学院,陕西 西安 710300)

**摘要:**针对传统气囊式蓄能器在放能过程中出现的压力波动问题,提出一种双气囊式蓄能系统以保证出口压力的恒定。利用比例换向阀、传感器设计一种具有比例反馈环节的新型双气囊式蓄能系统,阐述新型双气囊式蓄能系统的基本结构与工作原理。利用 AMESim 软件建立新型双气囊式蓄能系统的仿真模型,将其应用于具体的液压系统油路,再与单一蓄能器的作用效果进行对比。结果表明:在相同的工作压力下,对新型双气囊式蓄能系统进行了有效的压力补偿,保持了系统所需压力的稳定供给。

**关键词:**液压系统;蓄能器;压力损失;补偿;仿真

**中图分类号:**TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)06-0109-04

## Design and Simulation of a New Double Air Bag Energy Storage System

ZHONG Fan, ZHENG Kai

(Xi'an Traffic Engineering Institute, Xi'an 710300, China)

**Abstract:** With respect to the pressure fluctuation of traditional gasbag accumulator in the process of discharging energy, a double gasbag energy storage system is proposed to ensure the constant outlet pressure. A new type of dual air-bag energy storage system with proportional feedback link is designed with proportional reversing valve and sensor, and the basic structure and working principle of the new dual air-bag energy storage system are described. The simulation model of the new double-balloon energy storage system is established by AMESim software, applied to the specific hydraulic system oil circuit, and compared with the effect of a single accumulator. The comparison and analysis results show that the new double-airbag energy storage system, under the same working pressure, can effectively compensate the pressure and maintain the stable supply of pressure required by the system.

**Keywords:** hydraulic system; accumulator; pressure loss; compensation; simulation

## 0 引言

气囊式蓄能器因其结构简单、反应灵敏、性能可靠,被广泛应用于液压系统,尤其是在大型液压系统中,面对高压油直接流回油箱的现象,通过蓄能器的回收再利用提高了能量的转换效率,节约了大量能源<sup>[1-2]</sup>。但传统单一的囊式蓄能器在放能过程中,随着油液的释放,蓄能器压力则逐渐降低,当降到负载压力时停止向外排油,进而造成放能过程中的压力波动问题<sup>[3-5]</sup>。本文设计了一种新型双气囊式蓄能系统。通过双气囊、比例换向阀、传感器构成的双气囊式蓄能系统达到了压力补偿的目的,增强了蓄能器的稳定性。

## 1 设计目标

- 1) 在保证蓄能装置正常工作的同时,降低放能过程中的压力损失。
- 2) 能够成比例释放压力,降低压力损失,保持蓄能装置能量释放的稳定性。
- 3) 稳定非对称(非对称液压泵、非对称液压缸)液压系统的工作压力。

## 2 双气囊式蓄能系统的结构与工作原理

### 2.1 总体结构

双气囊式蓄能系统的结构如图 1 所示,气囊式蓄能器基本参数如表 1 所示。

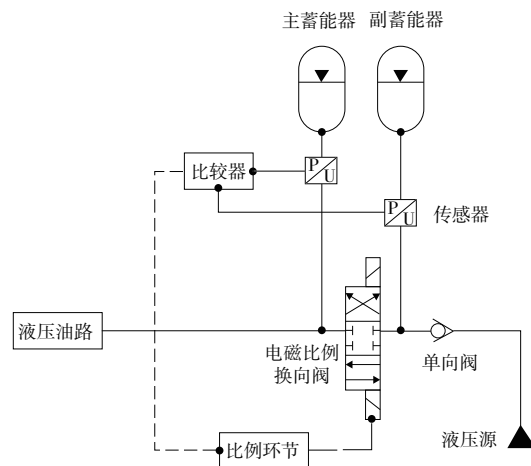


图 1 双气囊式蓄能系统的结构

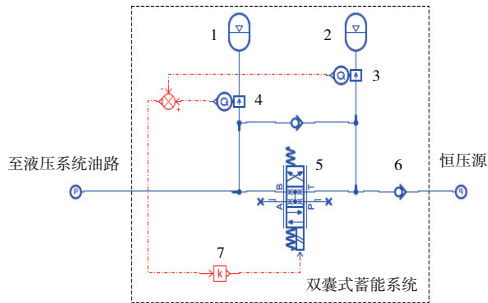
第一作者简介:钟凡(1986—),女,陕西西安人,讲师,学士,研究方向为工程训练教学,zhk171@126.com。

表1 气囊式蓄能器核心参数

技术指标参数	数值
工作容积/L	40
冲压指数	0.85
系统压力/MPa	14
最低压力/MPa	10
充气压力/MPa	8.5

## 2.2 工作原理

利用 AMESim 软件构建双气囊式蓄能系统,如图2所示。



1—主蓄能器;2—副蓄能器;3、4—传感器;  
5—电磁比例换向阀;6—单向阀;7—比例环节。

图2 双气囊式蓄能系统

恒压源向液压系统提供一定的系统压力,此时主蓄能器1、副蓄能器2开始蓄能;当液压系统油路处于工作状态时,传感器3、4分别检测主、副蓄能器的蓄能压力。当液压系统油路存在压力变化量时,比较器对传感器3、4的检测信号进行比较处理,并驱动比例反馈环节,按照一定比例系数向电磁比例换向阀5输入适当强度的电流,使主、副蓄能器1、2成比例释放压力,进而达到稳定系统油路工作压力的目的。

## 2.3 蓄能系统在液压回路中的分析

利用非对称泵、液压缸,组成液压系统回路,并将双蓄能系统应用于非对称液压系统,如图3所示。

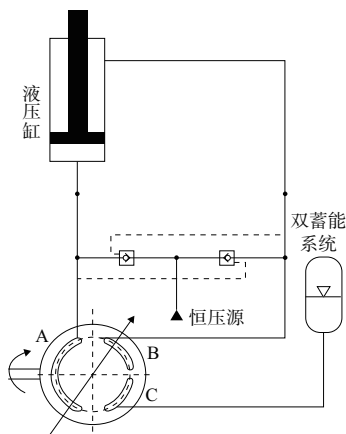


图3 液压系统回路

如图3所示,非对称轴向柱塞泵配流盘在传统柱塞泵配流盘基础上增加一个配流窗口,A窗口连接液压缸无杆腔,B窗口连接液压缸有杆腔,为匹配非对称单出杆液压缸两腔流量,3个配流窗口面积之比为  $S_A : S_B : S_C = 1 : \lambda : (1-\lambda)$ ,其中液压缸无杆腔面积与有杆腔面积之比与A、B两配流窗口面积之比相等,C口连接双蓄能系统。

## 2.4 系统压力的偏差分析

结合图2、图3中的仿真模型,得到了双气囊式蓄能系统在不同工作压力下主、副蓄能器的压力值,如表2所示。

表2 双气囊式蓄能系统压力值参数 单位:MPa

系统油路 工作压力 $P$	压力值		压力差 $\Delta P$
	主蓄能器	副蓄能器	
20	19.85	19.32	0.53
25	24.57	23.89	0.68
30	29.87	28.89	0.98
35	34.81	33.82	0.99
40	39.52	38.43	1.09
45	44.89	43.69	1.20
50	49.46	48.14	1.32

设液压系统工作压力  $P$  与主、副蓄能器的压力偏差量  $\Delta P$  之间的比例关系为

$$P = k \times \Delta P \quad (1)$$

式中  $k$  为比例系数。

本文在表1的基础上,结合式(1)构建了比例系数  $k$  的数学模型,并利用 MATLAB<sup>[6-7]</sup> 分析得到了比例系数。

$$k = \frac{P_n + P_{n-1} + \dots + P_0}{\Delta P_n + \Delta P_{n-1} + \dots + \Delta P_0} \quad (n \leq 6) \quad (2)$$

可得  $k \approx 3.579$ 。

## 3 控制系统的设计

本文以 PID 算法<sup>[8-9]</sup>中的比例环节为基础,设计控制流程如图4所示。

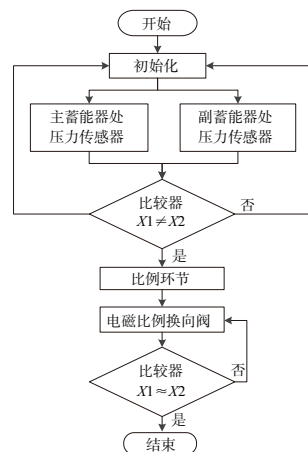


图4 控制系统流程

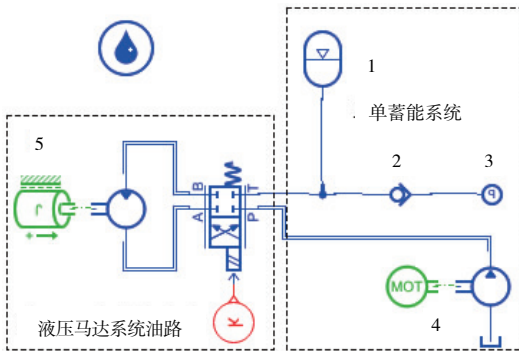
控制系统的主要功能是通过压力传感器对主、副蓄能器的压力进行检测,得到主、副蓄能器的压力。当工作油路存在负载变化,主、副蓄能器压力产生  $\Delta P$  时,比较器驱动比例反馈环节,按照比例系数  $k$  向电磁比例换向阀输入适当强度的电流,使蓄能器成比例释放压力,进而达到稳定系统压力的目的。

## 4 系统的设计与仿真

运用 AMESim 软件,通过绘制系统草图、建立子模型、参数设置、运行仿真 4 个环节,分别建立了一般带传输系统与智能补偿带传输系统的仿真模型,并进行了仿真实验,得到了相应的特性曲线。

### 4.1 单蓄能系统的仿真模型

1) 建立单蓄能系统的仿真模型,如图 5 所示。



1—蓄能器;2—单向阀;3—恒压源;  
4—液压泵;5—液压马达系统油路。

图 5 单蓄能系统的仿真模型

2) 设定子模型参数,如表 3 所示。

表 3 一般带传输系统的仿真模型参数

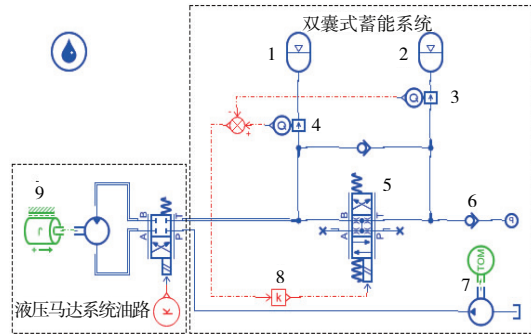
序号	名称	指标	参数值
1	蓄能器		默认值
2	单向阀		默认值
3	恒压源	压力值/MPa	2.0
4	液压泵		默认值
5	液压马达		默认值

3) 工作过程

当工作油路处于工作状态时,液压马达 5 带动负载转动,若负载发生突变时,蓄能器 1 补偿系统压力,保证其负载能力,维持工作油路的运行。

### 4.2 双气囊式蓄能系统的仿真模型

1) 建立双气囊式蓄能系统的仿真模型,如图 6 所示。



1—主蓄能器;2—副蓄能器;3,4—压力传感器;  
5—电磁比例换向阀;6—单向阀;7—液源;  
8—比例环节;9—液压马达系统油路。

图 6 双气囊式蓄能系统的仿真模型

2) 设定子模型参数,如表 4 所示。

表 4 智能补偿系统的仿真模型参数

序号	名称	指标	参数值
1	主蓄能器		默认值
2	副蓄能器		默认值
3,4	压力传感器		默认值
5	电磁比例换向阀		默认值
6	单向阀		默认值
7	液源	压力值/MPa	2.0
8	比例环节	比例系数	3.579
9	液压马达		默认值

3) 工作过程

当工作油路处于工作状态时,液压马达 9 带动负载转动,若负载发生突变时,主、副蓄能器 1、2 补偿系统压力,这时系统中的压力传感器 3、4 开始工作,将采集到的信号经比较器处理,若存在压力变化量  $\Delta P$  时,比例环节 8 工作,并按照预定算法向补偿系统中的电磁比例换向阀 5 输入相应比例的控制电流,向工作油路成比例输入压力,进而达到平衡工作油路系统压力、减少压力变化的目的,提高工作油路的稳定性。

## 5 系统仿真与分析

本文以“液压马达油路”作为验证系统,分别将单蓄能系统与双气囊式蓄能系统应用于验证系统进行仿真实验。

### 5.1 系统压力变化曲线

依据 4.1、4.2 中的仿真模型,按照表 3、表 4 中的参数

进行设置并进行仿真,得到相应的系统压力特性变化曲线,如图7所示。

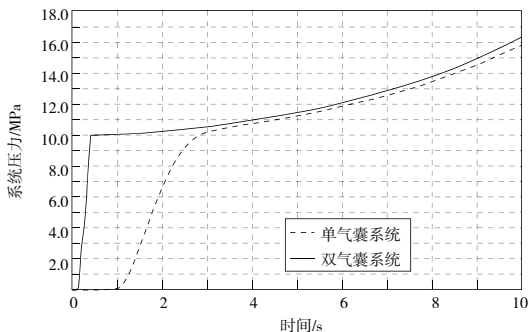


图7 系统压力特性变化曲线

## 5.2 系统流量变化曲线

依据4.1、4.2中的仿真模型,按照表2、表3中的参数进行设置并进行仿真,得到相应的系统流量特性变化曲线,如图8所示。

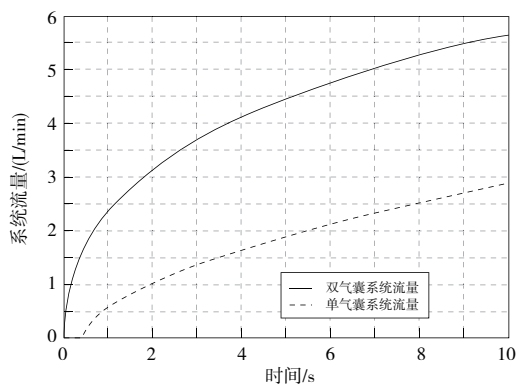


图8 系统流量变化曲线

## 5.3 结果分析

1)由图7可知,在0.28 s时双气囊式蓄能系统快速补偿工作油路,并达到稳定状态。而单蓄能系统则需要较长时间,即在2 s后工作油路(液压马达油路)达到稳定状态。因此,双气囊式蓄能系统能够快速补偿工作油路,提高了工作油路(液压马达油路)的负载能力与稳定性。

2)由图8可知,双气囊式蓄能系统在开始阶段就能够快速提高工作油路的流量,并快速达到稳定状态。在保证蓄能装置正常工作的同时,降低放能过程中的流量损失。

通过分析证明:双气囊式蓄能系统起到了较好的压力补偿作用,保持了工作系统(液压马达油路)所需压力的稳定供给。

## 6 结语

本文首先介绍了双气囊式蓄能系统的结构与工作原理,通过分析及仿真发现,当工作系统负载连续变化时,造成一定的系统压力损失。其次,针对压力损失这一问题,文中以比例换向阀、传感器、蓄能器为硬件核心设计了一种具有比例反馈环节的智能补偿系统,通过双气囊式蓄能器向工作系统成比例进行压力输入,进而达到压力补偿的作用。最后,以AMESim为手段搭建了单蓄能系统与双气囊式蓄能系统的仿真模型,并进行了仿真运算。通过结果的对比分析表明:双气囊式蓄能系统起到了压力补偿作用,提高了工作系统的负载能力,保持了工作系统的稳定性,具有一定的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 王志明. 气囊式动压蓄能器分析[J]. 液压工业,1991,11(2): 35-38.
- [2] 邓德华. 气囊式蓄能器及其常见故障[J]. 流体传动与控制, 2011(6): 50-53.
- [3] 任建英,刘长荣. 蓄能器的类型及使用方法[J]. 设备管理与维修,2011(增刊1):109-110.
- [4] 王敏,朱昌明,詹永麒,等. 一种带气囊式蓄能器的新型缓冲器的动态特性研究[J]. 机械设计与研究,2004,20(3): 84-85,76.
- [5] 沈奇显,金有道,罗忠辉. 气囊式蓄能器在机床平衡装置中的应用[J]. 液压气动与密封,1996,16(3):35-36.
- [6] 蔚芳鑫,孙明革,周海宇. 基于MATLAB的六轴机械臂运动学分析与验证[J]. 吉林化工学院学报,2021,38(11):59-62,79.
- [7] 袁祥,高飞,廉自生. 基于MATLAB的掩护式支架运动学仿真与实验[J]. 液压与气动,2021,45(11):25-31.
- [8] 穆天驰,张东民,周伟民. 基于模糊PID算法的同步柔性冲压装置控制系统研究[J]. 制造技术与机床,2022(1):94-97.
- [9] 同剑飞. 基于PID算法的工业炉自动化控制与远程监管系统[J]. 工业加热,2021,50(11):50-53.

收稿日期:2022-03-29